

ROTATING EQUIPMENT ABNORMALITY DIAGNOSTIC METHOD AND DEVICE THEREFOR

Publication number: JP10274558

Publication date: 1998-10-13

Inventor: YAMANAKA HIROSHI; INOUE MASAKI; MAKINO SHIGERU

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD

Classification:

- International: G01H17/00; G01M19/00; G01H17/00; G01M19/00;
(IPC1-7): G01H17/00; G01M19/00

- european:

Application number: JP19970259627 19970925

Priority number(s): JP19970259627 19970925; JP19970014395 19970128

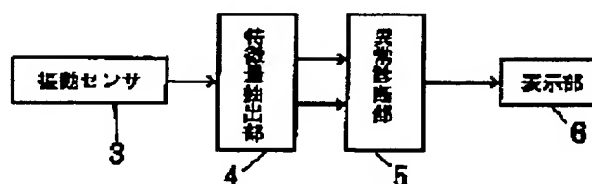
Report a data error here

Abstract of JP10274558

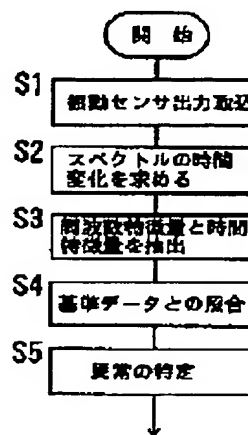
PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately diagnose abnormality of rotating equipment by extracting frequency feature quantity and time feature quantity from waveform data.

SOLUTION: Waveform data of vibration or sound generated during rotation of rotating equipment is detected (S1). The time change of spectrum of the waveform data is obtained (S2). Frequency generating a peak from the time change of spectrum is obtained as the frequency feature quantity, and time intervals generating peaks every frequency feature quantity are obtained as the time feature quantity (S3). Sets of frequency feature quantity - time feature quantity during abnormality of the rotating equipment are previously registered as reference data by abnormality causes, and sets of frequency feature quantity - time feature quantity obtained from the waveform data during rotation of the rotating equipment are collated with the reference data (S4). Presence and sort of abnormality are specified from the collated result (S5).

(a)



(b)



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-274558

(43) 公開日 平成10年(1998)10月13日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 H 17/00

G 0 1 H 17/00

A

G 0 1 M 19/00

G 0 1 M 19/00

A

審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平9-259627

(22) 出願日 平成9年(1997)9月25日

(31) 優先権主張番号 特願平9-14395

(32) 優先日 平9(1997)1月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005832

松下電工株式会社

大阪府門真市大字門真1048番地

(72) 発明者 山中 浩

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72) 発明者 井上 雅喜

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72) 発明者 牧野 滋

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(74) 代理人 弁理士 西川 恵清 (外1名)

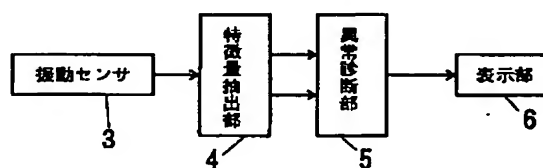
(54) 【発明の名称】 回転機器の異常診断方法およびその装置

(57) 【要約】

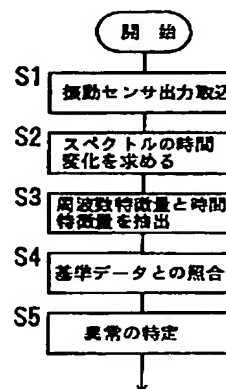
【課題】 波形データから周波数特徴量と時間特徴量とを抽出することにより、回転機器の異常診断を精度よく行なう。

【解決手段】 回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出する (S1)。この波形データのスペクトルの時間変化を求める (S2)。スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める (S3)。回転機器の異常時における周波数特徴量-時間特徴量の組を異常原因別に基準データとしてあらかじめ登録しておき、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データに照合する (S4)。照合結果から異常の有無および異常の種類が特定される (S5)。

(a)



(b)



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量－時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量－時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【請求項2】 上記波形データに短時間フーリエ変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項3】 上記波形データにウェーブレット変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項4】 周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して自己相関演算を行ない、自己相関値がピークになる時間間隔を時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項5】 周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を行ない、最大値が得られる周波数の逆数を時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項6】 周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を2回行なうケプストラム演算を行ない、最大値が得られるケプレンシー値を時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項7】 複数の周波数特徴量についてそれぞれ時間特徴量を求め、周波数特徴量－時間特徴量の各組を基準データに照合することを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項8】 回転機器の回転速度を検出し、回転速度に応じて時間特徴量を補正することを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項9】 回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量－時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量－時間特徴量の組と異常原因

2

因別とを対応付けるようにあらかじめ学習させたニューラルネットワークに与えることによって、回転機器の異常の有無および異常原因を特定することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【請求項10】 各周波数特徴量ごとに重み付けした基準値をそれぞれ設定し、各周波数特徴量ごとの時系列データがそれぞれ上記基準値を超える時点の時間間隔を各周波数特徴量ごとの時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1または請求項9記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項11】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、かつ駆動源は防振されていることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項12】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、回転機器が駆動されている間のベルトのテンションを一定に保つことを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項13】 ベルトのテンションを一定値としたときの駆動源と回転機器との軸間距離を求めることによりベルトの伸び量を求めることを特徴とする請求項12記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項14】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、上記波形データからベルトの振動周波数の周波数成分を除去した後に波形データのスペクトルの時間変化を求めることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項15】 駆動源と回転機器との軸間距離およびベルトのテンションに基づいてベルトの振動周波数を算出することを特徴とする請求項14記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項16】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、駆動源と回転機器との軸に直交する面内にベルトを位置させることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項17】 回転機器の回転時に発生する振動のような波形データを検出する振動センサと、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める特徴量抽出部と、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量－時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量－時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定する異常診断部とを備えることを特徴とする回転機器の異常診断装置。

【請求項18】 駆動源から回転機器に対して動力を伝達するベルトと、駆動源の振動を回転機器に伝達しないように駆動源を支持する振動緩衝材とを備えることを特徴とする請求項17記載の回転機器の異常診断装置。

(3)

3

【請求項19】 振動緩衝材を挟んだ両側の振動を検出する一対のセンサを備え、両センサの出力に基づいて振動緩衝材の伝達関数を求め、伝達関数の経時的変化により振動緩衝材の劣化を検出する手段を備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項20】 駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制するリニアガイドを備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項21】 駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制する空気軸受を備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項22】 駆動源を回転機器に対して移動可能に支持する支持手段と、駆動源を移動させる移動手段とを備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項23】 駆動源と回転機器との距離を検出する距離センサを備えることを特徴とする請求項18ないし請求項22記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項24】 駆動源の非動作時に回転機器を加振する加振手段を設け、異常診断部は、加振手段により回転機器を加振したときに振動センサで検出される波形データに基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断することを特徴とする請求項17記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項25】 加振手段はボイスコイルモータであることを特徴とする請求項24記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項26】 加振手段は圧電効果を用いたアクチュエータであることを特徴とする請求項24記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項27】 加振手段は振動センサと兼用されていることを特徴とする請求項25または請求項26記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項28】 加振手段は回転機器に衝撃力を与えるハンマであることを特徴とする請求項24記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項29】 請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で入出力のゲインを求め、このゲインをあらかじめ設定してある正常範囲と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【請求項30】 請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で複数の周波数での入出

4

力のゲインを求め、求めたゲインとあらかじめ設定してある点検用データとの相関値を求め、求めた相関値をあらかじめ設定してある閾値と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転機器の異常診断方法およびその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】一般に電動機や内燃機関を回転力の駆動源として回転駆動される各種の回転機器が提供されている。この種の回転機器に何らかの異常が生じたときには、常時とは異なる振動や音が発生することが知られており、このような状態で駆動を継続すると場合によっては回転機器が破損することもある。

【0003】そこで、従来より、回転機器より発生する振動や音のような波形データに高速フーリエ変換（FFT）を施すことにより得られたスペクトルパターンと、あらかじめ設定された異常時のスペクトルパターンとを比較し、比較結果に基づいて回転機器の異常の有無を診断することが考えられている（特開昭62-93620号公報）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記公報に記載の技術は、スペクトルパターンのみを用いて異常を判定するものであるから、異種の異常についてスペクトルパターンが等しくなるような場合（たとえば、スペクトルパターンは等しくても発生時間間隔が異なるような異常）については、異常の種類を判別することができないものである。

【0005】本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、波形データからより多くの情報を抽出することによって、異常の種別までも判断可能とした回転機器の異常診断方法およびその装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量-時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものである。

【0007】請求項2の発明は、請求項1の発明において、波形データに短時間フーリエ変換を施すことにより

(4)

5

波形データのスペクトルの時間変化を求めるものである。請求項 3 の発明は、請求項 1 の発明において、波形データにウェーブレット変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めるものである。請求項 4 の発明は、請求項 1 ないし請求項 3 の発明において、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して自己相関演算を行ない、自己相関値がピークになる時間間隔を時間特徴量に用いるものである。

【0008】請求項 5 の発明は、請求項 1 ないし請求項 3 の発明において、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を行ない、最大値が得られる周波数の逆数を時間特徴量に用いるものである。請求項 6 の発明は、請求項 1 ないし請求項 3 の発明において、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を 2 回行なうケプストラム演算を行ない、最大値が得られるケプレシー値を時間特徴量に用いるものである。

【0009】請求項 7 の発明は、請求項 1 の発明において、複数の周波数特徴量についてそれぞれ時間特徴量を求め、周波数特徴量－時間特徴量の各組を基準データに照合するものである。請求項 8 の発明は、請求項 1 の発明において、回転機器の回転速度を検出し、回転速度に応じて時間特徴量を補正するものである。

【0010】請求項 9 の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量－時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量－時間特徴量の組と異常原因別とを対応付けるようにあらかじめ学習させたニューラルネットワークに与えることによって、回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものである。

【0011】請求項 10 の発明は、請求項 1 または請求項 9 の発明において、各周波数特徴量ごとに重み付けした基準値をそれぞれ設定し、各周波数特徴量ごとの時系列データがそれぞれ上記基準値を超える時点の時間間隔を各周波数特徴量ごとの時間特徴量に用いるものである。請求項 11 の発明は、請求項 1 の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、かつ駆動源は防振されているものである。

【0012】請求項 12 の発明は、請求項 1 の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、回転機器が駆動されている間のベルトのテンションを一定に保つものである。請求項 13 の発明は、請求項 12 の発明において、ベルトのテンションを一定値としたときの駆動源と回転機器との軸間距離を求めることによりベルトの伸び量を求めるものである。

6

【0013】請求項 14 の発明は、請求項 1 の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、上記波形データからベルトの振動周波数の周波数成分を除去した後に波形データのスペクトルの時間変化を求めるものである。請求項 15 の発明は、請求項 14 の発明において、駆動源と回転機器との軸間距離およびベルトのテンションに基づいてベルトの振動周波数を算出するものである。

【0014】請求項 16 の発明は、請求項 1 の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、駆動源と回転機器との軸に直交する面内にベルトを位置させるものである。請求項 17 の発明は、回転機器の回転時に発生する振動のような波形データを検出する振動センサと、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める特徴量抽出部と、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量－時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量－時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定する異常診断部とを備えるものである。

【0015】請求項 18 の発明は、請求項 17 の発明において、駆動源から回転機器に対して動力を伝達するベルトと、駆動源の振動を回転機器に伝達しないように駆動源を支持する振動緩衝材とを備えるものである。請求項 19 の発明は、請求項 18 の発明において、振動緩衝材を挟んだ両側の振動を検出する一対のセンサを備え、両センサの出力に基づいて振動緩衝材の伝達関数を求め、伝達関数の経時変化により振動緩衝材の劣化を検出する手段を備えるものである。

【0016】請求項 20 の発明は、請求項 18 の発明において、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制するリニアガイドを備えるものである。請求項 21 の発明は、請求項 18 の発明において、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制する空気軸受を備えるものである。

【0017】請求項 22 の発明は、請求項 18 の発明において、駆動源を回転機器に対して移動可能に支持する支持手段と、駆動源を移動させる移動手段とを備えるものである。請求項 23 の発明は、請求項 18 ないし請求項 22 の発明において、駆動源と回転機器との距離を検出する距離センサを備えるものである。

【0018】請求項 24 の発明は、請求項 17 の発明において、駆動源の非動作時に回転機器を加振する加振手段を設け、異常診断部は、加振手段により回転機器を加振したときに振動センサで検出される波形データに基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無

(5)

7

を判断するものである。請求項25の発明は、請求項24の発明において、加振手段をボイスコイルモータとしたものである。

【0019】請求項26の発明は、請求項24の発明において、加振手段を圧電効果を用いたアクチュエータとしたものである。請求項27の発明は、請求項25または請求項26の発明において、加振手段が振動センサと兼用されているものである。請求項28の発明は、請求項24の発明において、加振手段を回転機器に衝撃力を与えるハンマとしたものである。

【0020】請求項29の発明は、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で入出力のゲインを求め、このゲインをあらかじめ設定してある正常範囲と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものである。

【0021】請求項30の発明は、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で複数の周波数での入出力のゲインを求め、求めたゲインとあらかじめ設定してある点検用データとの相関値を求め、求めた相関値をあらかじめ設定してある閾値と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものである。

【0022】

【発明の実施の形態】

（実施形態1）本実施形態において、異常診断の対象となる回転機器は図2に示すように、電磁クラッチ2であって、モータ1を駆動源としてベルト21を介して回転駆動されるようになっている。

【0023】さらに詳しく説明する。図3に示すように、床等の定位置に固定されるベース10には、ベース10上に固定されたモータベース11に取り付けたリニアガイド12を介してモータプレート13が一直線上でスライド自在となるように配置される。このモータプレート13に振動緩衝材14を介して載設された保持台15に駆動源としてのモータ1が固定される。モータプレート13のスライド方向はモータ1の出力軸に直交する面内であって水平方向に規制される。また、モータベース11と保持台15とは立ち上がり片11a、15aが設けられ、両立ち上がり片11a、15aの間にも振動緩衝材14aが介装される。

【0024】モータ1の回転力は出力軸に掛け回したベルト21を介して回転機器である電磁クラッチ2に伝達される。電磁クラッチ2は、図4に示すように、ベルト21が掛け回されたクラッチプーリ2aと、両端部が軸受22a、22bで軸支された回転軸23とともに回転する第1および第2のボス2b、2cと、軸受22aに

8

固定されたコイル25とを備える。第1のボス2bは回転軸23に固着されているが、第2のボス2cは第1のボス2bに対してスプラインにより結合され回転軸23の軸方向に移動可能となっている。クラッチプーリ2aは回転軸23に対して軸受23cを介して回転自在になっている。しかして、コイル25に励磁電流を流すと、第2のボス2cがクラッチプーリ2aに磁力で吸着され、クラッチプーリ2aからボス2bに回転力を伝達することができるのである。

【0025】軸受22a、22bはそれぞれ軸受台26a、26bに保持されており、軸受台26aには図3に示すように振動センサ3が配置される。振動センサ3は軸受台26aの振動を電気振動に変換するものであれば、どのようなものを用いてもよい。ところで、回転機器としての電磁クラッチ2の振動を振動センサ3で検出する際に、以下のような手順でモータ1と電磁クラッチ2とを結合する。まず、電磁クラッチ2を取り付けた後に、モータ1の出力軸とクラッチプーリ2aとにベルト21を掛け渡す。この段階では、図3(a)のように、モータプレート13を軸受台26a、26bのほうに寄せておくことによってベルト21を緩めておき、その後、図3(b)のように、モータプレート13を軸受台26a、26bから離すことによってベルト21に規定のテンションがかかるようにし、この位置でモータベース11とモータプレート13とを固定する。ここで、リニアガイド12を用いてモータプレート13を移動させるから、モータベース11に対してモータプレート13を滑らかに移動させることができ、振動緩衝材14に対して水平方向の力が作用せず、緩衝性能の低下を防止することができる。

【0026】次に、モータ1を回転させると電磁クラッチ2が回転するから、この状態での振動センサ3の出力に基づいて後述する振動解析を行ない、不良の有無を検出し、不良があればその原因を特定する。ベース10とモータ1との間には、振動緩衝材14、14aが設けられるから、モータ1からベース10に伝達される振動を大幅に減衰させることができ、モータ1の振動が振動センサ3でノイズとして検出されるのを抑制し、回転機器としての電磁クラッチ2の振動をノイズと分離して検出することができる。振動解析により不良の有無およびその原因を特定した後は、モータ1を停止させてモータプレート13を上記の向きとは逆向きに移動させ、ベルト21を外し、電磁クラッチ2を取り外す。このような手順で電磁クラッチ2の不良の有無を検出することができ、かつその不良原因も特定することが可能になる。

【0027】リニアガイド12に代えて、図5に示すように、空気軸受16を用いてもよい。空気軸受16はモータベース11に固定されており、モータプレート13の下面側に固定されるスライダ16aを備えるとともに、スライダ16aは軸受筒16bの中に浮上可能に収

9

納され、軸受筒16bに設けた流路16cを通して導入される圧縮空気をスライダ16aに吹き付けることによって、スライダ16aを軸受筒16bに接触させることなく浮上させるようになっている。したがって、リニアガイド12よりもさらに滑らかにモータプレート13をモータベース11に対して移動させることが可能になる。

【0028】なお、振動緩衝材14、14aが経年的に劣化するとノイズが増加するから、振動緩衝材14、14aについても劣化の有無を検出しておく必要がある。そこで、図6に示すように、モータプレート13の適所とベースプレート10の適所とにそれぞれ振動センサ3a、3bを配置し、モータ1にベルト21を掛けない状態で回転させ、モータプレート13の振動とベースプレート10の振動とを検出する。このようにして振動を解析すれば、モータプレート13からベースプレート10への伝達関数を求めることができるから、伝達関数の経年的変化を定期的に求めることによって、振動緩衝材14、14aの経年的変化を点検することが可能になる。たとえば、正常時の伝達関数は図7の①、経年変化により劣化したときの伝達関数は図7の②のようになる。

【0029】ところで、図2に示した装置は、モータプレート13の移動を手操作により行なうものであるが、モータプレート13を移動させる駆動手段として図8に示すようなエアシリンダ17を設けることができる。エアシリンダ17はモータプレート13のスライド方向に伸縮しモータプレート13に結合されたロッド17aを有し、空気圧によってロッドの伸縮量が調節される。したがって、図2に示した構成と同様に、ベルト21を掛ける前にはモータプレート13を軸受台26a、26bのほうに寄せておき、ベルト21をかけた後にエアシリンダ17によってモータプレート13を移動させ、ベルト21に所定のテンションが得られるようにすればよい。もちろん、ベルト21を外すときにはエアシリンダ17のロッド17aを突出方向に移動させてベルト21を緩める。

【0030】モータプレート13を移動させる駆動手段としては、図9に示すように、エアシリンダ17に代えてボイスコイルモータ18を用いることも可能である。ボイスコイルモータ18は、略E字形のヨーク18aの図中の上下両片の内側面に永久磁石18bを配置し、中央片を空芯のコイル18cに挿通したものであって、コイル18cに励磁電流を流すことによりコイル18cが中央片の長手方向に沿って移動するものである。コイル18cの位置は励磁電流に応じて決まるから、ドライバ18dに適宜の電流指令値を与えて励磁電流を制御すれば、コイル18cの位置を電流指令値のみで制御することができる。コイル18cはロッド18eを介してモータプレート13に結合され、上記電流指令値に応じてモータプレート13を移動させることができる。

(6)

10

【0031】ところで、モータ1と振動センサ3との間には振動緩衝材14、14aが存在しているから、モータ1の振動そのものは振動センサ3にはほとんど伝達されないが、ベルト21の振動は振動センサ3により検出されることになる。ベルト21の振動周波数は、検査対象としての電磁クラッチ2の振動解析を行なっている間にはほぼ一定とみなせるから、この振動周波数をあらかじめ測定しておき、この振動周波数を除去するようなフィルタを設けて振動センサ3の出力からベルト21の振動によるノイズを除去すれば、振動センサ3の出力から電磁クラッチ2によって生じる振動成分以外のノイズを除去することになり、電磁クラッチ2の振動解析の精度を高めることが可能になる。

【0032】ベルト21の振動周波数 f_B (Hz) はベルト21のテンション T_B (N) と、モータ1の出力軸と電磁クラッチ2の回転軸23との軸間距離 L (m) と、ベルト21の寸法や材質により決まる特性値 a (kg/m) との関数であって、次式のように表される。

$$f_B = T_B / (4 \cdot L^2 \cdot a)$$

上式を用いてベルト21の振動周波数 f_B を求めるときに、特性値 a はほぼ一定とみなしてよく、テンション T_B はエアシリンダ17やボイスコイルモータ18の負荷の大きさ（エアシリンダ17では空気圧、ボイスコイルモータ18では電流値によって知ることができる）によって知ることができるから、軸間距離 L を知る手段を設けることによって上式を適用することが可能になる。そこで、図10に示すように、モータプレート13とベースプレート10の定位置との間の距離を計測するための距離センサ27を設けてある。距離センサ27はたとえば光学式のものを用い、両距離センサ27間の距離に基づいて軸間距離 L を求めるのである。

【0033】テンション T_B や軸間距離 L は調節可能であるから、ベルト21の伸び量の変化による振動周波数 f_B の変化に対応することが可能になる。たとえば、振動周波数 f_B を一定に保つように制御すれば、フィルタの通過帯域を変化させることなくノイズを除去することができる。また、ベルト21のテンションを同条件として距離センサ27により距離を測定すれば、ベルト21の長さの変化を知ることができる。そこで、ベルト21が劣化するとベルト21の伸び量が大きくなることに着目すれば、ベルト21の長さの変化によってベルト21の劣化状態を点検することができる。つまり、正常時におけるベルト21の長さを測定しておき、定期的にベルト21の長さを点検して伸び量が所定値（たとえば、5%）に達したときに、ベルト21の交換を促すことが可能になる。

【0034】なお、ベルト21がモータ1の出力軸および回転軸23に直交する面内に含まれるように、回転軸23の長手方向における電磁クラッチ2の位置を調節しておくのはいうまでもない。これによって、モータ1の

(7)

11

出力軸やクラッチプリー2 aとベルト2 1との間で滑りが発生せず、不要な振動成分の発生を抑制することができる。

【0035】振動センサ3の出力に基づく振動解析は、以下のように行なう。すなわち、図1(a)のように、振動センサ3の出力から特徴量抽出部4において周波数特徴量と時間特徴量とを抽出し異常診断部5に入力する。異常診断部5は、周波数特徴量と時間特徴量と後述する基準データと照合することにより、異常の有無および異常の種類を求め、その結果を表示部6に表示する。

【0036】振動解析の基本的な手順は、図1(b)のようになる。まず、振動センサ3の出力を取り込む(S1)。次に、振動センサ3の出力は波形データであるから、この波形データのスペクトルの時間変化を求める(S2)。つまり、波形データの周波数と時間とパワーとの関係を求める。スペクトルの時間変化は、波形データに対して短時間フーリエ変換(STFT)あるいはウェーブレット変換という演算を施すことによって求める。これらの演算については後述する。

【0037】上述のように振動センサ3の出力の周波数と時間とパワーとの関係が求まると、回転機器に異常が生じたときに発生する周波数と時間とパワーとの関係における特徴的な情報を特徴量として抽出する(S3)。特徴量としては、異常発生時にピークを持つ周波数(以下、周波数特徴量という)と、周波数特徴量ごとにパワーが基準値Psを超えときの時間間隔(以下、時間特徴量という)とを用いる。このような周波数特徴量と時間特徴量とを組にすれば、回転機器の同種の異常に対しては周波数特徴量-時間特徴量の組がほぼ同じ値になり、異なる異常に対しては周波数特徴量-時間特徴量の組が異なる値を持つことになる。基準値Psは、適宜に設定することができるが、良品における波形データにおけるパワーの平均値 μ と標準偏差 σ とを用いて、

$$Ps = \mu + 3\sigma$$

$$Ps = \mu + 2\sigma$$

などと設定することができる。後者の基準値Psを用いると、周波数特徴量の検出確率が增大するから、より多くの情報を用いて多数の異常を識別することが可能になるが、情報量の増大によって処理時間が長くなるから、識別すべき異常の種類が少ない場合には前者の基準値Psを用いれば十分である。また、各周波数特徴量でピークの大きさが同じになるわけではないから、各周波数特徴量ごとに基準値Psを異なる値に設定するのが望ましい。つまり、周波数特徴量ごとに重み付けを行なうことに相当する。

【0038】そこで、回転機器の各種の異常について、周波数特徴量および時間特徴量をあらかじめ求め、各種*

$$Xs(t_0, w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) w(t - t_0, \Delta t) \exp(-j\omega t) dt$$

【0042】上述したような各種異常に対して振動セン

12

* 異常別に周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データとして登録しておき、回転機器の回転時に生じる波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データに照合する(S4)。たとえば、図11に示すように、複数種類の周波数特徴量 f_1, f_2, \dots と、複数種類の時間特徴量 t_a, t_b, \dots との組み合わせに異常の種類を対応付けたテーブルを基準データとして作成しておき、回転機器の回転時に得られた波形データから抽出した周波数特徴量-時間特徴量の組をこのテーブルに照合するのである。図示例では周波数特徴量-時間特徴量の組が (f_1, t_a) のときに軸受の内部に傷がある不良(R_1)、 (f_1, t_b) のときに接触不良1(R_2)、 (f_2, t_b) のときに接触不良2(R_3)であるものとしている。接触不良は軸受と回転軸との接触、電磁クラッチ2のクラッチプリー2 aとボス2 cとの接触などに関する不良である。この例では、軸受の傷と接触不良1とは同じ周波数特徴量 f_1 を有しているが、軸受の傷の場合には軸受の内部で転動する部材とその部材が接触している部材との回転周期に相当する時間間隔で周波数特徴量 f_1 のピークが生じ、接触不良1、接触不良2の場合には回転機器の回転周期に相当する時間間隔で周波数特徴量 f_2 のピークが生じる。このように、時間特徴量の相違により両者が識別される。また、同様に、接触不良1と接触不良2とは同じ時間特徴量 t_b ではあるが、周波数特徴量が異なるから識別可能である。

【0039】上述したように、周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データと照合し、一致するか否かを判定すれば、異常の有無および異常の種類を特定することができる(S5)。なお、照合の際には周波数特徴量および時間特徴量に若干の幅をもたせておくことが必要である。ところで、波形データからスペクトルの時間変化を求めるには、比較的短い時間間隔でスペクトルを求める必要がある。この種の技術としては、短時間フーリエ変換やウェーブレット変換が知られている。これらの技術を用いると周波数特徴量を求めるために、各周波数特徴量ごとの多数のフィルタを用いることなく、一つの振動センサ3の出力のみによって振動解析が可能になる。

【0040】これらの変換について簡単に説明する。短時間フーリエ変換は、測定すべき波形データを x

(t) 、窓関数を $w(t, \Delta t)$ として、時刻 t_0 における局所的なスペクトル $Xs(t_0, w)$ を、 $x(t)w(t - t_0, \Delta t)$ のフーリエ変換により求めるものである。すなわち、数1のようになる。

【0041】

【数1】

センサ3の出力である波形データに短時間フーリエ変換を施

(8)

13

して求めたスペクトルの時間変化は、たとえばそれぞれ図12ないし図14のようになる。これらの図によれば、上述した周波数特徴量 f_1 、 f_2 や時間特徴量 t_a 、 t_b が得られており、周波数特徴量と時間特徴量との組み合わせによって異常の種類を特定できることがわかる。

【0043】一方、ウェーブレット変換は、ウェーブレット関数という時間軸方向に拡大・縮小する窓関数を用いる点に特徴があり、元の波形データとウェーブレット*

$$g(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{a} \Psi_{a,b}(t) x(t) dt$$

$$\text{ただし、}\Psi_{a,b}(t) = \sqrt{a} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

【0045】ウェーブレット変換では、窓関数が時間軸方向に拡大・縮小されるから、図15に示すように、波形データの高周波領域ほど時間分解能を高くすることができ、低周波領域ほど周波数分解能が高くなる。なお、上述の例では振動解析の間には時間特徴量が変動しないものと仮定しているが、モータ1の回転速度が速度むら

を有している場合がある。そこで、回転機器の回転速度を検出する手段（ロータリエンコーダなど）を設け、回転速度に応じて時間特徴量を補正すれば、回転速度にむらがある場合でも精度よく異常診断を行なうことができる。

【0046】（実施形態2）上記実施形態のようにしてスペクトルの時間変化から時間特徴量を求めるときに、実施形態1ではパワーが基準値を超える時間間隔を時間特徴量としているが、このようにして求めた時間間隔は誤差を含むことがあるから、誤差を考慮して時間特徴量を決定する必要がある。たとえば、図16に示すように、時間特徴量 t_a には、誤差 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 が生じることがある。そこで、各周波数特徴量に関する時系列データを作成し自己相関演算を行なう。いま、一つの周波数特徴量に関して時系列データが $f(t)$ で表されるときに、自己相関関数 $\Phi_{XX}(\tau)$ は、数3のように表される。このような自己相関関数 $\Phi_{XX}(\tau)$ を求めると、自己相関関数 $\Phi_{XX}(\tau)$ を求めると図17のようになるから、時系列データ $f(t)$ の周期性を知ることができ、時間特徴量を決定することができる。

【0047】周波数特徴量の時系列データに対して自己相関関数 $\Phi_{XX}(\tau)$ に代えて高速フーリエ変換（FFT）を施してもよい。この場合、図18に示すように、特定の周波数に鋭いピークが生じるから、この周波数の逆数を時間特徴量として決定することができる。ただし、異常時に生じる波形データのピークが短時間で減衰するような波形であると、高速フーリエ変換を施したときに図19に示すように高調波成分による複数のピークが発生して時間特徴量を特定できない場合がある。そこ

14

*関数とのコンボリューションを求めるものである。すなわち、ウェーブレット関数 $\Psi_{a,b}(t)$ は、マザーウェーブレット $\Psi(t)$ というウェーブレット関数の基準となる窓関数に、 a 倍のスケール変換を施し、原点を b だけシフトさせたものであり、これを用いて数2のようにウェーブレット変換を行なう。

【0044】

【数2】

で、このような場合には、高速フーリエ変換を施した後、そのデータにさらに高速フーリエ変換を施して、いわゆるケプストラム演算を行なうようにする。この場合、図20に示すように、時間特徴量に鋭いピークが生じて時間特徴量を決定することができる。

【0048】（実施形態3）本実施形態は、複数種類の異常が同時に生じている場合を示すものであって、たとえば、回転機器の回転部分が固定部分に対して2箇所接触している場合に、各箇所異常が生じているとすれば、図21に示すように、2種類の周波数特徴量 f_3 、 f_4 が同時に検出されることになる。このような場合には、各周波数特徴量 f_3 、 f_4 を求めた後に、各周波数特徴量 f_3 、 f_4 ごとにそれぞれ時間特徴量 t_c 、 t_d を求めることにより、周波数特徴量-時間特徴量の組を特定することができる。したがって、図22に示すように、基準データとの照合によって異常原因 R_3 、 R_4 を特定することができるのである。

【0049】（実施形態4）本実施形態は、周波数特徴量と時間特徴量との組をテーブルによる基準データと照合せずに、ニューラルネットワークに入力することによって、異常の種類を識別するものである。具体的には図23に示すように、振動センサ3の出力から特徴量抽出部4において周波数特徴量と時間特徴量とを抽出し、ニューラルネットワークを用いた異常診断部5に入力するのである。異常診断部5は、既知の各種異常に対して周波数特徴量と時間特徴量とを与えるとともに、その異常原因に対応した学習信号を外から与えることによって、バックプロパゲーション等の周知技術によって学習させたものであり、分類器として機能するものである。したがって、周波数特徴量と時間特徴量とを異常診断部5に与えると、異常原因に対応した出力を発生する。この場合、実施形態3のように周波数特徴量と時間特徴量とに複数種類の組があるときは、周波数特徴量-時間特徴量の組を異常診断部5に順に与えることになる。異常診断部5による診断結果は適宜の表示部6に表示させる

(9)

15

ようにすればよい。

【0050】（実施形態5）本実施形態は、図24に示すように、図8に示した実施形態1の構成に加振手段としてのボイスコイルモータ31を付加したものである。ボイスコイルモータ31は軸受台26aに機械的に結合される。ボイスコイルモータ31は、図9に示したボイスコイルモータ18と同様の構成を有するものであって、ヨーク31aと、永久磁石31bと、空心のコイル（ボイスコイル）31cとを備える。永久磁石31bは内側面と外側面とが異極性になるように着磁されており、コイル31cに流す励磁電流の向きに応じてコイル31cがヨーク31aの中央片の長手方向に直進移動するようになっている。また、ヨーク31aとコイル31cとは復帰ばね32により結合され、コイル31cに励磁電流を流していないときにはコイル31cがヨーク31aに対して定位置に保持されるようになっている。復帰ばね32にはコイルばねやダイヤフラム状の板ばねなどが用いられる。さらに、コイル31cには連結軸33の一端が結合され、連結軸33の他端には重り34が結合されている。連結軸33はベース10に立設されスラスト軸受を備えた軸受台24により保持される。コイル31cに流す励磁電流は適宜の電流指令値をドライバ31dに与えることで制御される。また、軸受台26aにはヨーク31aが結合される。

【0051】しかして、コイル31cに流す電流をパルス状ないし正弦波状などとする事で軸受台26aに振動を加えることができる。つまり、コイル31cへの励磁電流に応じてヨーク31aとコイル31cとが相対的に移動しようとし、コイル31c側に適宜の質量の重り34が取り付けられていることによって、軸受台26aに振動を加えることができる。

【0052】本実施形態は、振動センサ3の軸受台26aに対する取付状態や電磁クラッチ2の軸受台26aに対する取付状態などに異常がないか否かを検出しようとするものであって、モータ1を駆動していない状態でボイスコイルモータ31を駆動するようにしてある。具体的には異常診断部5が以下の手順で異常の有無を判断する。

【0053】まず、電磁クラッチ2の振動解析を行なう場合と同様に、モータ1と電磁クラッチ2のクラッチプリー2aとの間にベルト21を掛け回す。このときには、図24に示すように、モータプレート13を軸受台26a、26bに寄せておくことによってベルト24を緩めておく。その後、モータプレート13を移動させてベルト21に所要のテンションをかけた状態でモータプレート13をベース10に固定する。

【0054】その後、ボイスコイルモータ31を駆動して軸受台26aを振動させ、ボイスコイルモータ31に与えた電力 P_i と、振動センサ3により検出した振動のパワー P_o との比（ $=P_o/P_i$ ）を複数の周波数につ

16

いて求める。この比は入出力のゲインに相当するものであり、数値が比較的小さくなるから、次式によってデシベルに換算したゲイン G を求めるのが望ましい。

$$G = 10 \cdot \log (P_o / P_i)$$

装置が正常であるときに求めたゲインに基づいて設定した閾値としての上限值 G_s および下限値 G_i （一般には正常時のゲイン G の平均値に一定値の加減算を行なった値）と比較し、図25（a）に示すように、求めたゲイン G が上限値 G_s と下限値 G_i との間であるときには

（つまり、 $G_i < G < G_s$ ）、振動センサ3が軸受台26aにがたつきなく取り付けられ、軸受台26aに電磁クラッチ2が確実に保持されていると判断する。このような判断を複数の周波数について行なうことによって、装置の正常・異常を点検することができる。ここにおいて、ボイスコイルモータ31に与える励磁電流がパルス状であれば1回の励磁でゲイン G の周波数分布を知ることができ、励磁電流が正弦波状である場合には周波数を変化させながらゲイン G を求めることになる。なお、装置に異常があれば図25（b）に示すように、求めたゲイン G が上限値 G_s と下限値 G_i との間から逸脱することになる。

【0055】加振手段としては、図26に示すように、圧電効果を利用したアクチュエータ35を用いてもよい。この種のアクチュエータ35でもボイスコイルモータ31と同様に軸受台26aに振動を加えることができる。しかも、この種のアクチュエータ35は高周波での駆動が可能であってボイスコイルモータ31よりも測定周波数範囲を広くとることができる。さらに、この種のアクチュエータ35は外部から与えた電圧信号の指令値に応じて軸受台26aに加える力が変化させることができるが、逆に、軸受台26aに加えた力に応じてアクチュエータ35から電圧出力を得ることも可能である。そこで、加振手段であるアクチュエータ35を振動センサ3に兼用することによって部品点数を低減することができる。ただし、この構成ではアクチュエータ35により軸受台26aを振動させる期間と、アクチュエータ35を振動センサ3として用いる期間とはタイミングをずらしてある。ゲイン G の測定にはパルス状ないし正弦波状の電圧信号を与える。

【0056】さらに、加振手段としては、図27に示すように、ハンマ36を用いてもよい。ハンマ36は図示しないソレノイドなどの駆動源により駆動され、軸受台26aに衝撃力を与える。ハンマ36を用いると衝撃力を与えるから、1回の衝撃で多数の周波数成分を含む振動を軸受台26aに与えることができる。また、衝撃力を与えた後にハンマ36は軸受台26aから離れるから、振動センサ3および軸受台26aを含む機械系の振動状態をより正確に検出することができる。ここで、ハンマ36において軸受台26aに衝撃力を作用させる部位にはロードセル37を設け、衝撃力を測定することで

(10)

17

軸受台26aに与えた衝撃力を正確に測定することができる。

【0057】本実施形態においては、ゲインGが上限値Gsと下限値Giとの範囲内か否かのみで正常・異常を判断しているが、たとえば、ゲインGの周波数分布が図28に示すような形になっていると、ゲインGが上限値Gsと下限値Giとの範囲内ではあるもののゲインGの周波数分布のパターンには類似性がみられない。このような場合には装置が正常ではないことが多い。そこで、上限値Gsおよび下限値Giとの平均値を点検用データとして用いるとともに、この平均値とゲインGとの相関値を求め、求めた相関値を閾値と比較し、相関値が閾値以上（つまり類似度が高い）ときに正常と判断するようにしてもよい。

【0058】

【発明の効果】請求項1の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量-時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものであり、周波数特徴量と時間特徴量とを組み合わせることで異常原因を特定するから、従来のように周波数のみを用いて異常原因を特定するものに比較して異常原因の判別精度が高くなるという利点がある。

【0059】請求項2の発明のように、波形データに短時間フーリエ変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めると、1つの波形データに基づいて多数のフィルタを用いることなく周波数特徴量および時間特徴量を求めることができるという利点がある。請求項3の発明のように、波形データにウェーブレット変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めると、高周波領域では時間分解能が高くなり低周波領域で周波数分解能が高くなるから、周波数特徴量および時間特徴量を効率よく抽出することができるという利点がある。

【0060】請求項4の発明のように、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して自己相関演算を行ない、自己相関値がピークになる時間間隔を時間特徴量に用いるものでは、各周波数特徴量についてピークが生じる時間間隔に多少のずれがあっても時間特徴量としてよい値を求めることができるという利点がある。

【0061】請求項5の発明のように、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高

18

速フーリエ変換を行ない、最大値が得られる周波数の逆数を時間特徴量に用いるものでは、各周波数特徴量におけるピークの発生周期が抽出しやすくなるという利点を有する。請求項6の発明のように、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を2回行なうケプストラム演算を行ない、最大値が得られるケフレンシー値を時間特徴量に用いるものでは、ピークの減衰が速い場合でもピークの発生周期を容易に抽出することができるという利点を有する。

【0062】請求項7の発明のように、複数の周波数特徴量についてそれぞれ時間特徴量を求め、周波数特徴量-時間特徴量の各組を基準データに照合するものでは、異常原因が複数存在する場合でも異常原因を特定することができるという利点を有する。請求項8の発明のように、回転機器の回転速度を検出し、回転速度に応じて時間特徴量を補正するものでは、回転機器の回転速度が変動する場合でも異常原因を特定することが可能になる。

【0063】請求項9の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量-時間特徴量の組と異常原因別とを対応付けるようにあらかじめ学習させたニューラルネットワークに与えることによって、回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものであり、ニューラルネットワークを異常原因の分類に用いているから、異常が発生したときに学習させるだけで異常原因の分類が可能になるという利点がある。つまり、基準データの設定が不要になるものである。

【0064】請求項10の発明のように、各周波数特徴量ごとに重み付けした基準値をそれぞれ設定し、各周波数特徴量ごとの時系列データがそれぞれ上記基準値を超える時点の時間間隔を各周波数特徴量ごとの時間特徴量に用いるものでは、一律に基準値を設定する場合よりも、回転機器の条件に適合した周波数特徴量と時間特徴量とを得ることができ、異常原因の判別精度が向上する。

【0065】請求項11の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、かつ駆動源は防振されているものでは、駆動源から回転機器への振動の伝達を抑制することができ、波形データ中のノイズが少なくなるという利点がある。請求項12の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、回転機器が駆動されている間のベルトのテンションを一定に保つものでは、回転機器の振動計測条件が一定になり診断精度の向上につながる。

【0066】請求項13の発明のように、ベルトのテン

(11)

19

ションを一定値としたときの駆動源と回転機器との軸間距離を求めることによりベルトの伸び量を求めるものでは、ベルトの伸び量を管理することができ、ベルトの交換時期を知ることができるという利点がある。請求項14の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、上記波形データからベルトの振動周波数の周波数成分を除去した後に波形データのスペクトルの時間変化を求めるものでは、ベルトの振動によるノイズを除去して異常診断を行なうことができる。

【0067】請求項15の発明のように、駆動源と回転機器との軸間距離およびベルトのテンションに基づいてベルトの振動周波数を算出するものでは、ベルトのテンションが変化してもベルトの振動周波数を知ることができるから、ベルトの振動によるノイズを容易に除去することができる。請求項16の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、駆動源と回転機器との軸に直交する面内にベルトを位置させるものでは、ベルトが軸方向に滑らないから不要な振動が発生せず異常診断の精度が向上するものである。

【0068】請求項17の発明は、回転機器の回転時に発生する振動のような波形データを検出する振動センサと、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める特徴量抽出部と、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量-時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定する異常診断部とを備えるものでは、周波数特徴量と時間特徴量とを組み合わせることで異常原因を特定するから、従来のように周波数のみを用いて異常原因を特定するものに比較して異常原因の判別精度が高くなるという利点がある。

【0069】請求項18の発明のように、駆動源から回転機器に対して動力を伝達するベルトと、駆動源の振動を回転機器に伝達しないように駆動源を支持する振動緩衝材とを備えるものでは、駆動源からの振動が回転機器にほとんど伝達されないから、振動センサが不要な振動成分を検出することがなく、異常診断の精度が向上するものである。

【0070】請求項19の発明のように、振動緩衝材を挟んだ両側の振動を検出する一対のセンサを備え、両センサの出力に基づいて振動緩衝材の伝達関数を求め、伝達関数の経時的変化により振動緩衝材の劣化を検出する手段を備えるものでは、振動緩衝材の伝達関数を管理することによって、振動緩衝材の劣化を管理することができる。

【0071】請求項20の発明のように、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベ

20

ルトを含む面内に規制するリニアガイドを備えるものでは、駆動源の移動方向が規制されて不要な振動成分の発生を防止することができるとともに、ベルトのテンションを適宜に調節することが可能になる。請求項21の発明のように、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制する空気軸受を備えるものでは、リニアガイドに比較して駆動源をより滑らかに移動させることが可能になる。

【0072】請求項22の発明のように、駆動源を回転機器に対して移動可能に支持する支持手段と、駆動源を移動させる移動手段とを備えるものでは、移動手段によって駆動源を容易に移動させることができる。請求項23の発明のように、駆動源と回転機器との距離を検出する距離センサを備えるものでは、距離の検出によりベルトの伸び量を求めたりベルトのテンションを求めたりすることが可能になり、結果的にベルトの劣化を検出してベルトの交換時期の目安を与えることができるという利点がある。

【0073】請求項24の発明のように、駆動源の非動作時に回転機器を加振する加振手段を設け、異常診断部が、加振手段により回転機器を加振したときに振動センサで検出される波形データに基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断するものでは、回転機器に対する振動センサの取付状態などの点検が可能になり、再現性のよい異常診断が可能になる。

【0074】請求項25のように、加振手段をボイスコイルモータとしたものでは、回転機器に加える振動を正確に制御しやすく、回転機器や振動センサの異常の有無を判定しやすくなる。請求項26の発明のように、加振手段を圧電効果を用いたアクチュエータとしたものでは、回転機器に加える振動の周波数を高くすることができ、広い周波数領域に亘って回転機器と振動センサとの異常の有無を点検することができる。

【0075】請求項27の発明のように、加振手段が振動センサと兼用されているものでは、加振手段を用いながらも構成要素を少なくすることができるという利点を有する。請求項28の発明のように、加振手段を回転機器に衝撃力を与えるハンマとしたものでは、加振手段としてボイスコイルモータやアクチュエータと比較すると構成が簡単になるという利点がある。

【0076】請求項29の発明のように、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で入出力のゲインを求め、このゲインをあらかじめ設定してある正常範囲と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものでは、ゲインと閾値との比較によって回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断するから、回転機器と振動センサとの取付状態などに異常がないか否かを

(12)

21

容易に診断することができるという利点がある。

【0077】請求項30の発明のように、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で複数の周波数での入出力のゲインを求め、求めたゲインとあらかじめ設定してある点検用データとの相関値を求め、求めた相関値をあらかじめ設定してある閾値と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものでは、複数の周波数で求めたゲインと点検用データとの相関値を求め、相関値に基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断するから、請求項29の構成に比較してより正確に異常の有無を判断することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1を示し、(a)はブロック図、(b)は動作説明図である。

【図2】同上の測定装置を示す平面図である。

【図3】同上の測定装置を示し、(a)はベルトを装着する際の側面図、(b)は測定状態の側面図である。

【図4】同上に用いる電磁クラッチの断面図である。

【図5】同上において空気軸受を用いた場合の一部破断側面図である。

【図6】同上において振動緩衝材の伝達関数を測定する例を示す側面図である。

【図7】同上における振動緩衝材の伝達関数の変化を示す図である。

【図8】同上においてエアシリンダを用いた例を示す側面図である。

【図9】同上においてボイスコイルモータを用いた例を示す平面図である。

【図10】同上において距離センサを用いた例を示す側面図である。

【図11】同上に用いる基準データの一例を示す図である。

【図12】同上におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

22

【図13】同上におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図14】同上におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図15】同上に用いるウェーブレット変換の概念図である。

【図16】実施形態2におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図17】同上において自己相関関数を用いた例を示す図である。

【図18】同上において高速フーリエ変換を適用した例を示す図である。

【図19】同上において高速フーリエ変換を適用した場合の問題例を示す図である。

【図20】同上においてケプストラム演算を行なった例を示す図である。

【図21】実施形態3におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図22】同上における基準データの例を示す図である。

【図23】実施形態4を示すブロック図である。

【図24】実施形態5を示し、(a)は平面図、(b)は側面図である。

【図25】同上の動作説明図である。

【図26】同上の他の構成例を示す平面図である。

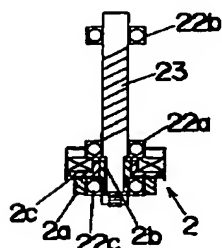
【図27】同上のさらに他の構成例を示す平面図である。

【図28】同上の動作説明図である。

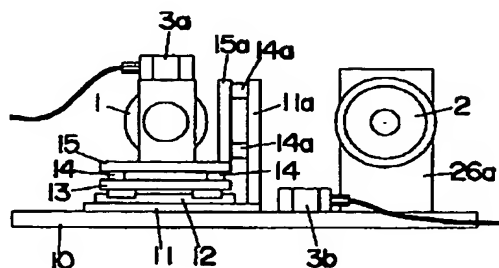
【符号の説明】

- 1 モータ
- 2 電磁クラッチ
- 3 振動センサ
- 4 特徴量抽出部
- 5 異常診断部
- 31 ボイスコイルモータ
- 35 アクチュエータ
- 36 ハンマ

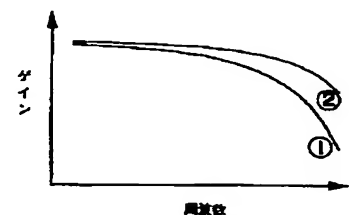
【図4】



【図6】



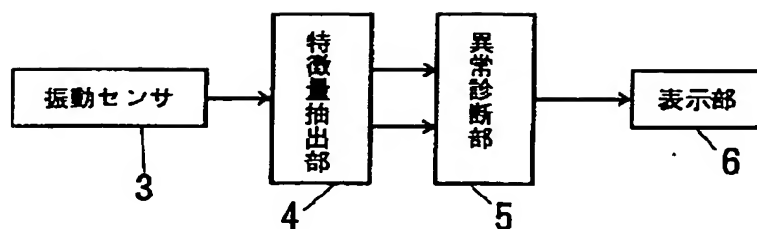
【図7】



(13)

【図1】

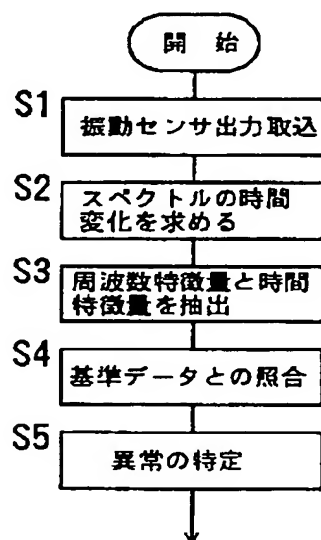
(a)



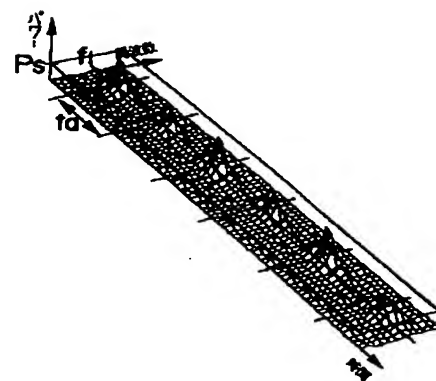
【図11】

周波数特徴量		f1	f2	f3	f4	f5	f6
時間特徴量	ta	R1					
	tb	R2	R3				
	tc						
	td						
	te						
	tf						

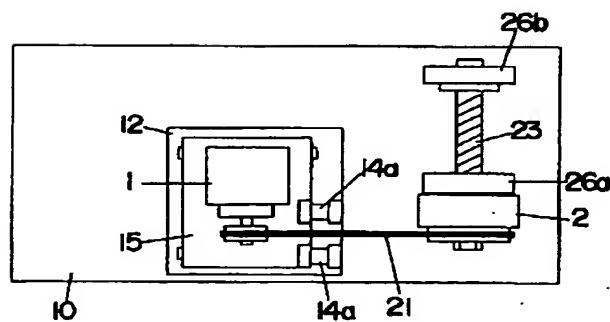
(b)



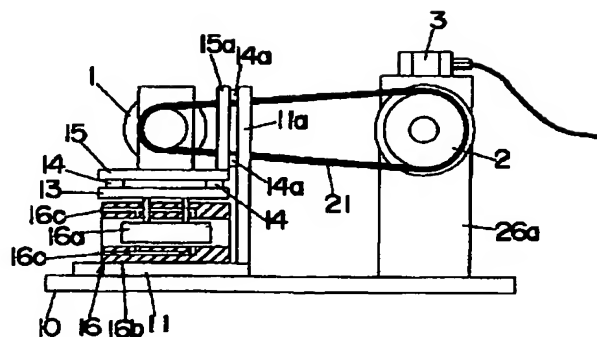
【図12】



【図2】

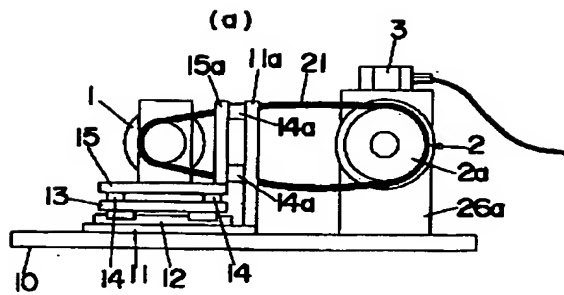


【図5】

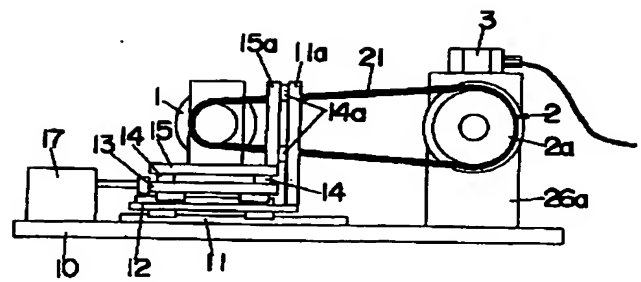


(14)

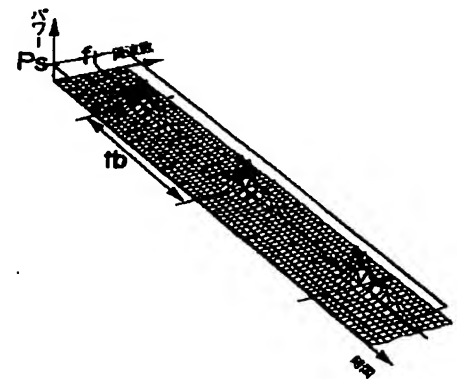
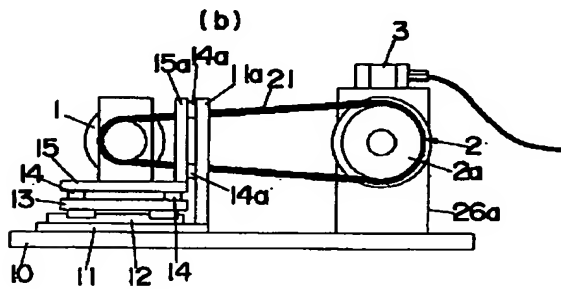
【図3】



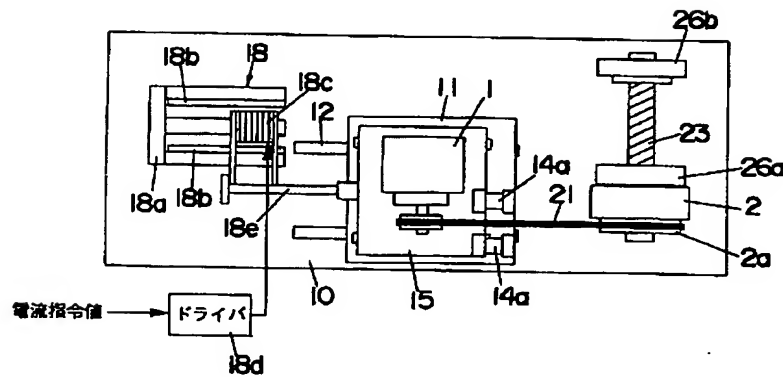
【図8】



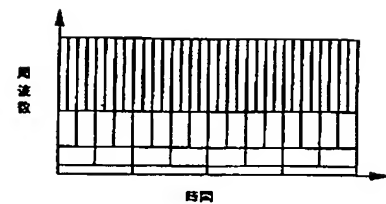
【図13】



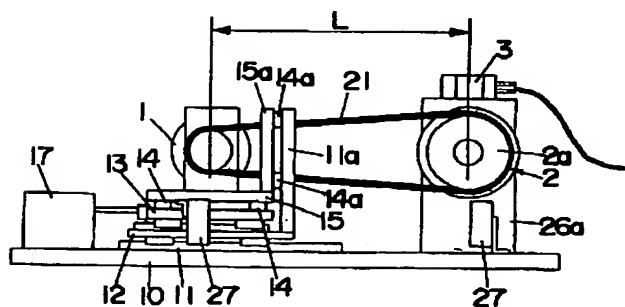
【図9】



【図15】



【図10】



【図14】

